

Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors

Online variable rate herbicide application using a camera sensor

Karl-Heinz Dammer^{1*}, Hartmut Böttger¹, Gerhard Wartenberg² & Roland Rosenau³

¹Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Technik Im Pflanzenbau, Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

²Am Raubfang 16, D-14469 Potsdam

³Landwirtschaftliche Produktivgenossenschaft Dabrun e.G., Melzwyger Str. 26, D-06901 Kemberg

*Korrespondierender Autor, kdammer@atb-potsdam.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.023

Zusammenfassung

Am Leibniz-Institut für Agrartechnik wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen SYMACON Bildverarbeitung GmbH Barleben und Müller-Elektronik GmbH & Co. KG Salzkotten ein sensorgesteuertes Feldspritzensystem zur Applikation von Pflanzenschutzmitteln entwickelt.

Bei engstehenden Reihenkulturen wie Getreide erfolgt die Unkrauterfassung in der Fahrspur. Systembedingt wird nicht zwischen Unkraut und Kulturpflanze unterschieden. Dadurch ist ein langer Einsatzzeitraum des Systems gegeben, zumal eine Unterscheidung von Kulturpflanze und Unkraut je nach Überlappungsgrad im fortgeschrittenen Wachstumsstadium äußerst schwierig bzw. nicht mehr möglich ist. Situationsbedingt können als Regelparameter die Unkrautzahl (frühe Wachstumsstadien des Unkrautes) oder der Unkrautdeckungsgrad (späte Wachstumsstadien) verwendet werden. Auf Grund der mechanischen Trägheit der Feldspritze beim Erreichen des Sollwertes der Applikationsmenge (Druckanpassung innerhalb des Regelbereiches der Düsen) ist ein gewisser Abstand zwischen dem Sensor und dem Spritzbalken notwendig. Daher ist der Kamerasensor am Frontdreipunkt des Traktors positioniert. Feldspritzen mit einer schnellen kontinuierlichen Regelung der Applikationsmenge, die eine Sensorpositionierung am Spritzbalken erlauben, werden zurzeit nicht produziert.

Im Unterschied zu anderen am Markt verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen sensorgestützten Applikationssystemen, wo Düsen bzw. Teilbreiten an- und abgeschaltet werden, wird entsprechend einer definierten Regelfunktion während der Fahrt die Applikationsmenge entsprechend dem Sensorsignal variiert. In Feldbereichen, in denen die Verunkrautung einen bestimmten Schwellenwert übersteigt, wird mit der betriebsüblichen Menge gespritzt, während in Bereichen ohne Unkraut bis zu 50 % reduziert wird. Zwischen 50 % bis 100 % erfolgt eine proportionale Anpassung der Applikationsmenge. Im Gegensatz zu einer Düsen- bzw. Teilbreitenschaltung „an/aus“ bleiben bei einer kontinuierlichen Regelung keine Feldbereiche unbehandelt. Die Gefahr einer ungehinderten Unkrautentwicklung bis hin zur Samenbildung ist nicht gegeben.

Im Herbst 2009 wurde mit dem sensorgesteuerten Spritzensystem in einem 26 ha großen Wintergerstenfeld eines Landwirtschaftsbetriebes eine Herbizidapplikation durchgeführt. Die Mitteleinsparung belief sich auf 20 %.

Stichwörter: Multispektralkamera, präzise Unkrautkontrolle, Unkrautsensor, variable Aufwandmengen

Summary

In cooperation with the two companies SYMACON Bildverarbeitung GmbH Barleben and Müller-Elektronik GmbH & Co. KG Salzkotten a sensor controlled field sprayer for precise plant protection was developed at the Leibniz-institute for Agricultural Engineering.

In narrow seeded field crops like cereals, the weed detection is done within the tramlines. Because of the way the system operates, there is no discrimination between cultivated crops and weeds. In later growth stages, crop and weed are overlapping and discrimination within the plant stand becomes difficult or even impossible. Situational, the weed number (early growth stages) or the weed coverage level (late growth stages) can be used as parameter to control the field sprayer. The sensor is positioned at the front three point linkage of the tractor. Field sprayers with a fast adaption of the application rate are not yet commercially available.

In contrast to other “on/off” sensor controlled application systems which are on the market or under development, the application rate in the presented technology is in- or decreased according to the sensor signal. At heavy weed infested sites of the field, the customary application rate is sprayed. It is reduced up to 50 % at sites with low weed pressure. Between the volume of 50 % and 100 %, the application rate is

proportional adapted to the weed infestation. In contrast to the "on/off" switching of single nozzles or boom sections, no sites are left unsprayed using the variable rate approach. There is no risk of unobstructed weed development or seed setting.

In autumn 2009, a 26 ha winter barley field on a farm was sprayed against weeds with the sensor controlled field sprayer. The product Falcon® was used with the dosage of 1 l/ha. The spray volume was varied between 100 and 200 l/ha. The product savings were on average 20 %.

Keywords: Multispectral camera, precise weed control, sensor-controlled sprayer, weed sensor

1. Einleitung

Während für die Stickstoffdüngung mittlerweile sieben Sensortypen mit teilweise ähnlichem Wirkprinzip der landwirtschaftlichen Praxis angeboten werden (RECKLEBEN, 2010; EHLERT, 2011), gibt es in der Sensorentwicklung für den Pflanzenschutz erheblichen Nachholbedarf. Für den sensorgestützten Herbizideinsatz stehen zur Zeit Systeme, basierend auf den WeedSeeker® (Ntech Industries, Ukiah, USA) und Weed-IT® (Rometron, Doorwerth, NL), am Markt zur Verfügung. Einzeldüsen werden je nach vorhandenem grünen Pflanzenmaterial an- und ausgeschaltet. Diese Systeme unterscheiden nicht zwischen Unkraut und Kulturpflanze und sind daher für die Unkrautkontrolle mit Totalherbiziden in Reihenkulturen, abgeernteten Feldern, Brachen und Freiflächen (z. B. Parkplätzen) geeignet. Einen umfassenden Überblick über den Entwicklungsstand bei Sensoren und Applikationstechnologien gibt CHRISTENSEN et al. (2009).

Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation in Feldfrüchten würden dem Landwirt die Möglichkeit bieten, entsprechend der örtlich auftretenden Verunkrautung seiner Ackerflächen, die Ausbringmenge mit einer geeigneten Pflanzenschutzspritze variabel anzupassen und dadurch Pflanzenschutzmittel einzusparen. Neben dem Umwelteffekt ist der ökonomische Vorteil für die Landwirtschaftsbetriebe zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit zu nennen. Zusätzlich zur Mitteleinsparung kann im Vergleich zu einer betriebsüblich einheitlichen Applikation mit einer Tankfüllung mehr Fläche behandelt werden, was zur Minderung der Maschinenkosten, besonders des Dieselvebrauches führt. Auch die CO₂-Bilanz bei der Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel und Rohstoffe würde dadurch verbessert werden.

Echtzeitverfahren bei der Herbizidapplikation haben klare wirtschaftliche Vorteile gegenüber absetzigen Verfahren, bei denen Unkrautdetektion und Spritzung in zwei Arbeitsgängen erfolgen. Eine Aufbereitung der Daten zu einer Spritzkarte entfällt. Fehldosierungen z. B. durch Ausfall von GPS Daten werden vermieden. Durch die zeitnahe Spritzung gibt es kein Problem mit einem „Weiterwachsen“ des Unkrautes. Eine Erhöhung der Basisdosierung wäre unter diesen Umständen notwendig, wodurch sich der Einspareffekt verringern würde. Das Restmengenproblem lässt sich durch eine intelligente Spritzlogistik im Wesentlichen reduzieren. Bei Dienstleistern und flächenmäßig großen Landwirtschaftsbetrieben ist dies eher von untergeordneter Bedeutung, da ausreichend zu behandelnde Fläche zur Verfügung steht.

Das am Leibniz-Institut für Agrartechnik entwickelte Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation in Echtzeit basiert auf der Anpassung der Applikationsmenge an die detektierte Verunkrautung. Das Verfahren wurde unter Einsatz eines Vorgängersensors (optoelektronischer Diodensensor) in vierjährigen Praxistests in den Jahren von 2000 bis 2003 erprobt. Es wurden Mitteleinsparungen von durchschnittlich 20 % (DAMMER et al., 2006; DAMMER und WARTENBERG, 2004, 2007) erreicht. Trotz der Einsparung von Pflanzenschutzmitteln zeigten mehrjährige Streifenversuche (sensorgestützte gegenüber betriebsüblicher einheitlicher Applikation) keine Ertragsreduktion und auch kein erhöhtes Auftreten von Unkräutern (DAMMER und WARTENBERG, 2004, 2007).

Die Erfahrungen aus den Praxistests in Agrarbetrieben mit dem Diodensensor gingen in die Entwicklung eines Kamerasensor-Forschungsmusters ein (BÖTTGER et al., 2004; WARTENBERG et al., 2005). Durch die Trennung von Boden und Pflanze können Kamerasensoren echte Pflanzenparameter wie Anzahl Pflanzen je Flächeneinheit oder Pflanzendeckungsgrad während der Überfahrt erfassen.

Die Pflanzenparametererfassung ermöglicht, falls gewünscht, eine Unkrautregulierung nach ökonomischen Schadensschwellen. In den Algorithmus der Regelfunktion können daher unter anderem ökonomische Betrachtungen, wie beispielsweise Ertrags-Verlust-Relationen, eingehen (WARTENBERG und DAMMER, 2001).

2. Material und Methoden

2.1 Kamerasensor

Der Sensor besteht aus einer 3-Chip CCD Kamera vom Typ MS2100 (Firma DuncanTech, Redlake, San Diego, Californien, USA). In Abbildung 1 ist schematisch der Aufbau dargestellt. Durch einen Prismenblock wird das einfallende Licht in drei Strahlenbündel aufgeteilt. Die Strahlenbündel werden durch die dichroische Beschichtung der Prismenblöcke in drei verschiedene Spektralbereiche separiert. Vor den Bildsensoren sind Schmalbandfilter angeordnet, die Licht im roten (670 nm), infraroten (800 nm) und grünen (532 nm) Wellenlängenbereich mit einer bestimmten Bandbreite hindurch lassen. Dieses trifft dann auf den jeweiligen Bildsensor. Die digitalen Bilddaten werden im 8 Bit-Format über eine Bildverarbeitungskarte („Frame Grabber“) an einen Industrie-Computer ausgegeben. Hier erfolgt entsprechend WARTENBERG et al. (2005) die Bildverarbeitung durch das Programm „Unkraut“, erstellt durch die Firma SYMACON GmbH Barleben (1. Berechnung NDVI, 2. Binarisierung, 3. Objektzählung bzw. Deckungsgrad). Eine I/O-Einsteckkarte (PCI_DAS_6025) dient der Eingabe von Triggersignalen zur Auslösung der Bildfolge sowie der Ausgabe eines Analogsignals für die Feldspritze zur Steuerung der Applikationsmenge (1 bis 4 V entsprechend der detektierten Objekte). Die Einstellung der Kameraparameter (separate Verstärkung rot/infrarot, Belichtungszeit) erfolgt ebenfalls über den Industrie-PC mittels kameraeigener Steuerungssoftware DT Control.

Prinzipbedingt erfasst der Kamerasensor den Unkrautbewuchs in der Fahrspur. Die Kamera ist am Frontdreipunkt in einer Höhe von etwa 40 cm angebracht. Daraus ergibt sich in Verbindung mit dem ausgewählten Objektiv eine Größe der aufgenommenen Bildfläche von 20 cm x 15 cm. Durch ein wegabhängiges Triggersignal vom Traktorhinterrad werden die Bilder während der Überfahrt lückenlos aufgenommen. Zum Ausgleich der Trägheit des hydraulischen Systems der Feldspritze wird auf einer Fahrstrecke von 5 m die Summe der erkannten Einzelunkräuter gebildet, deren Größe klassifiziert und der mittlere Deckungsgrad errechnet. Eine Fahrstrecke von 5 m entspricht 25 Bildern bzw. einer Aufnahmefläche von 0,75 m². Langjährige Feldversuche ergaben, dass diese relativ kleine Aufnahmefläche in der Fahrspur bei der sensorgestützten im Vergleich zu einer einheitlichen betriebsüblichen Herbizidapplikation keinen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg hat und daher ausreichend ist (DAMMER UND WARTENBERG, 2004).

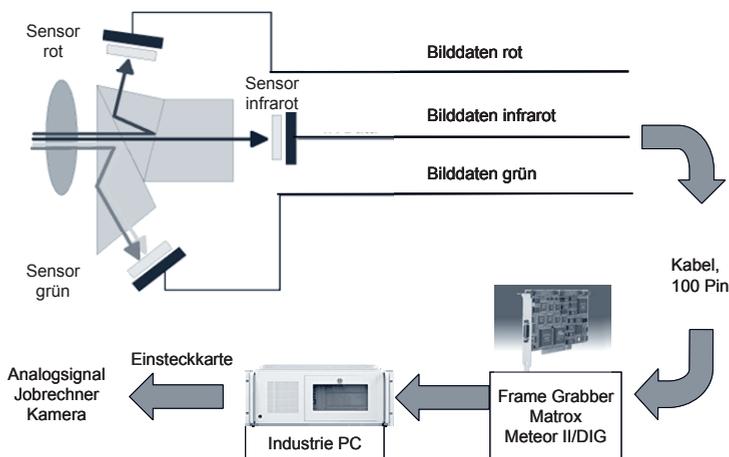


Abb. 1 Schema des optischen Teils der Kamera und Informationsverarbeitung (nach WARTENBERG et al., 2005).

Fig. 1 Optical part of the camera and information processing (according to WARTENBERG et al., 2005).

Gegenüber Sensorsystemen, die auch im Kulturpflanzenbestand das Unkraut detektieren, treten keine Probleme bei fortgeschrittenem Wachstum durch Überdeckung von Kulturpflanze und Unkräutern auf. Bei üblicher Fahrspurbreite ist somit ein langer Einsatzzeitraum des Sensors gegeben.

Der Kamerasensor und die Bildbearbeitungssoftware wurden so entwickelt, dass eine sichere Erkennung von Unkräutern bei in der Praxis üblichen Fahrgeschwindigkeiten gewährleistet ist. Feldtests wurden bei Geschwindigkeiten bis zu 15 km/h durchgeführt (WARTENBERG et al., 2005).

2.2 Sensorgesteuerte Feldspritze

Für die Untersuchungen wurde eine BBG-Amazone Feldspritze (Amazone Werke, Hasbergen-Gaste, D) verwendet. Diese hat ein Tankvolumen von 4000 l und ist mit einem 24 m Gestänge ausgerüstet. Auf dem Gestänge befinden sich Mehrfachdüsenkörper VarioSelect® (Lechler, Metzingen, D) mit Injektordüsen ID 120 der Größen 01, 015, 02 und 04. Dadurch wird eine Variierung der Applikationsmenge gewährleistet, ohne dass sich die Qualität des Spritzbelages wesentlich ändert. In Zusammenarbeit mit der Firma Müller-Elektronik, Salzkotten, erfolgte eine Integration des Kamerasensors in das Bus-System der Traktor-Feldspritze. Der Jobrechner der Kamera ist über den Bus mit dem Jobrechner Feldspritze verbunden. Auf beide kann mit dem Bedienrechner Basic Terminal Top® (Müller-Elektronik, Salzkotten, D) in der Traktorkabine zugegriffen werden. Zur Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten dient der ISOBUS Standard.

Zur Positionsbestimmung wurde ein AgGPS®132 DGPS Empfänger (Trimble, Sunnyvale, USA) mit dem System EGNOS (European Satellite Services Provider) benutzt.

Befindet sich das Unkraut im Keimblattstadium (z.B. Wintergetreide im Herbst) hat sich die Verwendung der detektierten Unkrautanzahl als Steuergröße bewährt; bei heterogener Altersstruktur des Unkrautes (z.B. Feldmöhren im Frühjahr und Sommer) hingegen der Deckungsgrad (DAMMER et al., 2008).

2.3 Versuchsstandort

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einem etwa 26 ha großen Wintergerstenschlag der Landwirtschaftlichen Produktivgenossenschaft Dabrun e.G., auf einem stauwasserbestimmten Lehmboden der Elbniederung. Die Verunkrautung wurde auf einem 18 m x 50 m Raster mit Hilfe eines 0,50 m² Zählrahmens etwa 2 m neben der Fahrspur im Kulturpflanzenbestand am 20.10.2009 erfasst. Am 21.10.2009 erfolgte eine Herbizidapplikation mit Falkon® (Diflufenican + Penoxsulam) mit 1l/ha in 200 l/ha Wasser. Ein Streifen wurde mit der vollen Aufwandmenge behandelt. In den anderen Streifen kam die Kamera zum Einsatz. Wie in langjährigen Feldversuchen geprüft (WARTENBERG und DAMMER, 2001; DAMMER und WARTENBERG, 2007), erfolgte eine lineare Anpassung zwischen 50 und 100 % der Applikationsmenge an die detektierte Verunkrautung. Im westlichen Teil des Feldes hat der Landwirtschaftsbetrieb einen Tag später eine etwa 1 ha große Restfläche des Feldes mit der betriebseigenen Feldspritze mit gleichem Mittel, gleicher Dosierung und gleicher Aufwandmenge (200 l/ha) behandelt. Es ergaben sich somit insgesamt drei Spritzvarianten auf dem Feld. Die Wintergerste der Sorte „Highlight“ (Aussaart: 17.09.2009 mit 165 kg/ha) war zum Behandlungszeitpunkt im Wachstumsstadium BBCH 11/12, die Unkräuter im Wesentlichen im Keimblattstadium und der Ausfalltraps im Zweiblattstadium. Die Stickstoffdüngung erfolgte mit KAS jeweils mit 75 kg/ha N am 10.03. sowie am 08.04.2010 und eine Fungizidbehandlung am 12.05.2010 mit Tankmischung 0,7 l/ha Diamant (F500 + Epoxyconazol) + 0,7 l/ha OpusTop (Epoxyconazol + Fenpropimorph) + 0,3 l/ha Camposan (Ethephon) in 200 l/ha Wasser. Auf Grund der unzureichenden Wirkung der drei Behandlungsvarianten im Herbst gegen Gemeinen Windhalm und Klettenlabkraut wurde eine zweite Herbizidbehandlung am 20.04.2010 mit einer Tankmischung 1 l/ha Axial50 (Pinoxaden + Cloquintocet-mexyl) + 1,5 l/ha Basagran DP (Bentazon + Dichloprop-P) 200 l/ha Wasser durchgeführt. Auf Grund fehlenden Unkrautes in der Fahrspur verursacht durch die häufigen Durchfahrten bei den Frühjahrsmaßnahmen war ein Sensoreinsatz bei dieser späten Herbizidapplikation auf diesem Auestandort nicht mehr sinnvoll.

3. Ergebnisse

3.1 Vorhandene Unkrautflora

Die Leitunkräuter (Abb. 2, links) waren Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* L.) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) Pal. Beauv.) mit 53 % und 21 % der Gesamtunkrautanzahl. Ausfallraps von der Vorfrucht trat mit 15 % auf. Mit jeweils 4 % folgten Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis* Murr.).

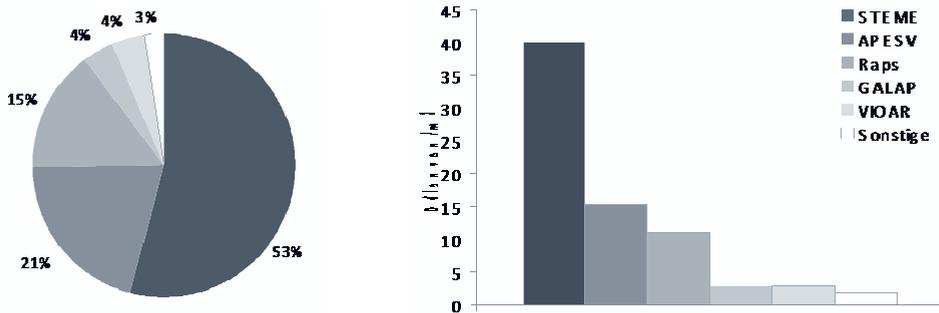


Abb. 2 Relative Häufigkeit (links) und mittlere Individuendichte der vorkommenden Unkrautarten (rechts), Wintergerstenfeld am 20.10.2009.

Fig. 2 Relative frequency (left) and mean abundance of weed species on October 20, 2009 (right).

Eher sporadisch traten mit 1,4 % Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), 1,0 % Gemeiner Erdrauch (*Fumaria officinalis* L.) und 0,1 % Taubnessel-Arten (*Lamium* spp.) auf. Diese drei Arten wurden unter „Sonstige“ (Anteil < 3 %) zusammengefasst. Bei der Analyse der Abundanz anhand der mittleren Individuendichte je Unkrautart (Abb. 2, rechts) zeigte sich, das STEME mit 40 Pflanzen/m² die größte Dichte aufwies, gefolgt von APESV (20 Pflanzen/m²) und Ausfallraps (11 Pflanzen/m²). Die andern Unkrautarten kamen mit Abundanzen kleiner als 3 Pflanzen/m² vor.

3.2 Sensorgesteuerte Herbizidapplikation

Während der Versuchsdurchführung wurden parallel Sensorwert, Applikationsmenge und GPS-Position aufgezeichnet. So konnten zur Visualisierung und Kontrolle Sensor- und Applikationskarten erstellt werden. Dazu wurde die Software ArcView® (ESRI, Redlands, Californien, USA) genutzt.

Die Karte der Sensorwerte (Abb. 3) zeigte eine stärkere Verunkrautung im südlichen Randbereich sowie im westlichen und östlichen Teil des Feldes. Der Anteil stark verunkrauteter Bereiche (> 300 Unkräuter/0,75 m²) ist mit 43 % des Feldes als sehr hoch zu beurteilen.

Entsprechend der Erfahrung des Landwirtes wurde eine obere Schwelle des Sensorwertes festgelegt, ab der die volle Aufwandmenge von 200 l/ha zur Anwendung kam. Bei Sensorwert Null erfolgte die Applikation der halben Aufwandmenge. Unterhalb der oberen Schwelle erfolgte eine lineare Reduktion der Aufwandmenge bis Sensorwert Null.

Ähnlich der Sensorwerte zeigt sich die räumliche Verteilung der Applikationsmenge innerhalb des Feldes (Abb. 4). Hohe Applikationsmengen >180 l/ha wurden in den Bereichen mit >300 Unkräuter/0,75 m² appliziert und Mengen <120 l/ha in Bereichen mit <100 Unkräuter/0,75 m².

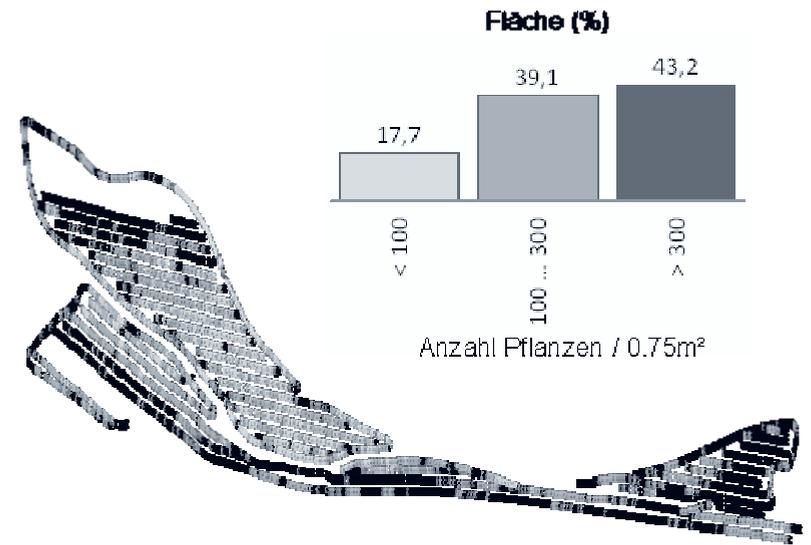


Abb. 3 Karte des Sensorwertes (Unkrautzahl/0,75 m²) am 21.10.2009.

Fig. 3 Map of the sensor values (weed number/0.75 m²) on October 21, 2009.

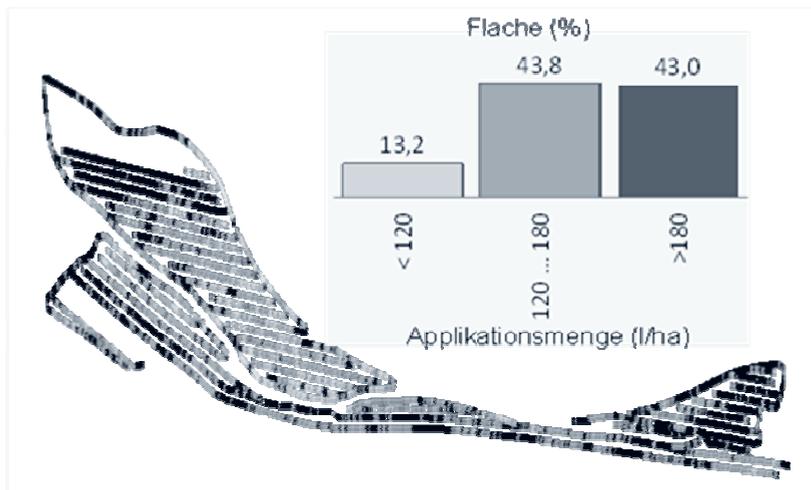


Abb. 4 Karte der Applikationsmenge (l/ha) am 21.10.2009.

Fig. 4 Map of the application rate (l/ha) on October 21, 2009.

Nach Auswertung der 6835 Einzelwerte ergab sich eine durchschnittliche Applikationsmenge von 159,7 l/ha für dieses Feld. Das entspricht einer Mitteleinsparung im Vergleich zu einer flächeneinheitlichen Herbizidspritzung (200 l/ha) von rund 20 %.

Nachbonituren an den Aufnahmeempunkten am 28.10. und 10.11.2009 ergaben erst am zweiten Termin erkennbare Chlorophylldefekte bei den zweikeimblättrigen Unkräutern in allen drei Behandlungsvarianten (1. sensorangepasst, 2. ohne Sensor einheitlich, 3. betriebseigene Spritze einheitlich). Erwartungsgemäß traten keine Wirkungssymptome an der Acker-Kratzdistel auf. Dieses

Wurzelunkraut liegt außerhalb des Wirkungsspektrums des Mittels. Der Gemeine Windhalm war wider erwarten nicht geschädigt. Im Frühjahr war daher ein hoher Unkrautdruck durch Windhalm vorhanden. Klettenlabkraut trat im Frühjahr ebenfalls an den Boniturpunkten relativ häufig auf.

4. Diskussion

Erste Wirkungssymptome an den Unkräutern waren erst am zweiten Boniturtermin 20 Tage nach Behandlung erkennbar. Dies ist mit der Witterung erklärbar. Abbildung 5 zeigt den Verlauf der maximalen Temperatur der nächstgelegenen Wetterstation Wittenberg (Sachsen-Anhalt) im Zeitraum Oktober bis November 2009. Deutlich erkennbar ist der fast lineare Abwärtstrend der Temperatur vom 07.10. bis zum 15.10.2009. Zum Applikationszeitpunkt 21.10. und danach lag die Maximaltemperatur deutlich unter 10 °C. In den Nächten trat Frost auf. Ein Stoffwechsel (Wachstum) der Pflanzen war praktisch nicht gegeben, so dass davon auszugehen ist, dass systemische Mittel nur schwer in die Pflanze aufgenommen werden.

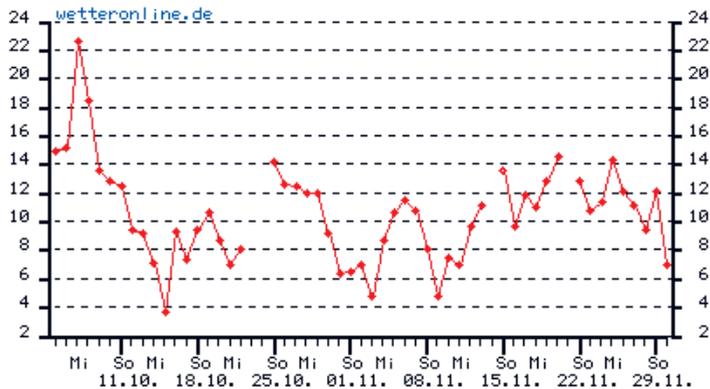


Abb. 5 Verlauf des Temperaturmaximums im Oktober und November 2009 (www.wetteronline.de).

Fig. 5 Run of the maximum temperature in October and November 2009 (www.wetteronline.de).

Die unzureichende Windhalm- und Klettenlabkrautwirkung trat in allen drei Behandlungsvarianten gleichzeitig auf. Daher ist die Minderwirkung nicht auf das Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation zurückzuführen. Das vorliegende Beispiel zeigt deutlich, dass Mittelwirkungen sehr stark von den Witterungsbedingungen während der Applikation und danach abhängen.

Mit 20 % erscheint die eingesparte Mittelmenge nicht sonderlich hoch. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch die hohe Ausgangsverunkrautung (Abb. 2) auf diesem Feld zu nennen, die höheren Einspareffekten entgegenwirkt. Bei dem aktuellen Literpreis des Mittels von ca. 34 € belief sich die Einsparung auf etwa 7 € pro Hektar. Des Weiteren wird im vorgestellten Verfahren der sensorgestützten Herbizidapplikation die gesamte Fläche behandelt. Im Gegensatz zu Systemen, die Teilbreiten je nach Erreichen bestimmter Parameterschwellen zu bzw. abschalten, erfolgt eine kontinuierliche Regelung der Applikationsmenge über den gesamten Spritzbalken je nach Höhe der Sensorsignals. Falls bei den „an/aus“-Systemen im Aufnahmebereich der Sensoren die vorher eingestellten Schwellen unterschritten werden, wird die gesamte Teilbreite abgeschaltet, so dass Feldbereiche unbehandelt bleiben.

Sowohl bei den Systemen „an/aus“ als auch „kontinuierliche Regelung“ wird durch die Sensoren nur ein kleiner Bereich entlang des Spritzbalkens bzw. der Teilbreite erfasst. Das Unkrautaufreten in den anderen Bereichen bleibt unerkannt. Die dort noch vorhandenen Unkräuter können bei „an/aus“-Systemen ungehindert weiterwachsen und zur Samenbildung kommen. Zwar sind beim vorgestellten Verfahren die Mitteleinsparungen durch die Spritzung der Gesamtfläche nicht so hoch wie bei den „an/aus“-Systemen, aber eine ungehinderte Unkrautentwicklung und damit eine Restverunkrautung, welche zu Problemen bei der Ernte führen könnte, werden vermieden.

Bei dem vorgestellten Verfahren der kontinuierlichen Regelung wird die gesamte Fläche bei gleicher Konzentration der Spritzbrühe behandelt. Es wird lediglich die Aufwandmenge bis auf 50 % reduziert, wenn kein Unkraut detektiert bzw. eine bestimmte Schwelle unterschritten wird. DOGAN (1999) belegt, dass bei günstigen Umweltbedingungen eine ausreichende Schädigung des Unkrautes sogar bei einer Reduzierung der Mitteldosierung bis 50 %, also dem Mischungsverhältnis Wasser zu herbizidem Produkt, eintritt. Somit ist bei dem vorgestellten Verfahren eine sichere Wirkung des Herbizides gewährleistet, vorausgesetzt die anderen Randbedingungen einer guten fachlichen Praxis sind gewährleistet.

Literatur

- BÖTTGER, H., H. LANGNER UND A. RUCKELSHAUSEN, 2004: MESSSYSTEM ZUR BEWERTUNG DES UNKRAUTVORKOMMENS. BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE **36**, 49-54.
- CHRISTENSEN, S., H.T. SOGAARD, P. KUDSK, M. NORREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI UND R. JORGENSEN, 2009: SITE SPECIFIC WEED CONTROL TECHNOLOGIES. WEED RESEARCH **49**, 233-241.
- DAMMER, K.-H. UND G. WARTENBERG, 2004: WIRKUNG SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION IN GE-TREIDE UND ERBSEN, JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX**, 405-412.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG UND A. GIEBEL, 2006: ABUNDANZ- UND DISPERSIONSDYNAMIK VON UNKRÄUTERN BEI SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION AM BEISPIEL EINES SOMMERGERSTENSCHLA-GES. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XX**, 197-204.
- DAMMER, K.-H. UND G. WARTENBERG, 2007: REAL-TIME SITE SPECIFIC WEED MANAGEMENT WITH VARIABLE HERBICIDE RATES. CROP PROTECTION **26**, 270-277.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG UND F. WEINHOLD, 2008: AUFWANDMENGENDIFFERENZIERUNG BEI SENSORGESTÜTZTER HERBIZIDAPPLIKATION IN UNKRAUTPOPULATIONEN MIT HETEROGENER ALTERSSTRUKTUR, JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XXI**, 161-166.
- DOGAN, M.N., 1999: INVESTIGATIONS ON THE EFFICACY OF REDUCED HERBICIDE DOSES DEPENDING ON WEED SPECIES, GROWTH STAGE AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS. PROMOTIONSSCHRIFT, STUTTGART-HOHENHEIM.
- EHLERT, D., 2011: SENSOREN FÜR DÜNGUNG UND PFLANZENSCHUTZ. VDI-BERICHTE **Nr. 2117**, 115-128.
- RECKLEBEN, Y., 2010: SENSORSCHWEMME. STICKSTOFFDÜNGUNG MIT SENSOREN – WELCHE GIBT ES UND WAS KÖNNEN SIE? NEUE LANDWIRTSCHAFT **HEFT 4**, 81-84.
- WARTENBERG G. UND K.-H. DAMMER, 2001: SITE-SPECIFIC REAL TIME APPLICATION OF HERBICIDES IN PRACTICE. IN: GRENIER, G., UND S. BLACKMORE, (EDS.). THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. VOL. 2. AGRO, MONTPELLIER, PP. 617-622.
- WARTENBERG, G., H.-R. LANGNER, H. BÖTTGER UND H. SCHMIDT, 2005: MESSSYSTEM ZUR BEWERTUNG DES UNKRAUTVORKOMMENS. BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE **44**, 158 S.